

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ЭКСТРУЗИИ

Курбатова К.А.^{1,2}, Русин Н.М.²

¹Томский политехнический университет, г. Томск

²С.Н.С., Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск
kсениакурбатова@mail.ru; rusinnm@mail.ru

Качество и площадь контактов между порошками существенно влияют на прочность прессовки [1]. С этой точки зрения уплотнение порошковых насыпок прямой экструзией (Э) может быть эффективным, поскольку в процессе Э порошки значительно меняют свою форму и площадь контактов между ними возрастает, а действующее давление ($p = \sigma_y \ln(S_0/S)$) высоко [2]. В этой связи, представляет интерес исследовать особенности формы контактов между порошками различной дисперсности, подвергнув их большой деформации посредством Э.

В работе использовались алюминиевые порошки марки ПА. Их прессовали в брикет сечением 15x15 мм и подвергали Э в клинообразной матрице с выходным отверстием 7x7 мм, что обеспечивало деформацию $\varepsilon_0 = 0.88$.

На рис. 1а приведена фотография литого алюминиевого образца с координатной сеткой после экструзии. Для того чтобы оценить влияние сил контактного трения при Э, верхняя (рис.1а) сторона образца была не смазана. В результате дисторсия ячеек координатной сетки по длине образца была неоднородной, а поверхность течения волнистой.

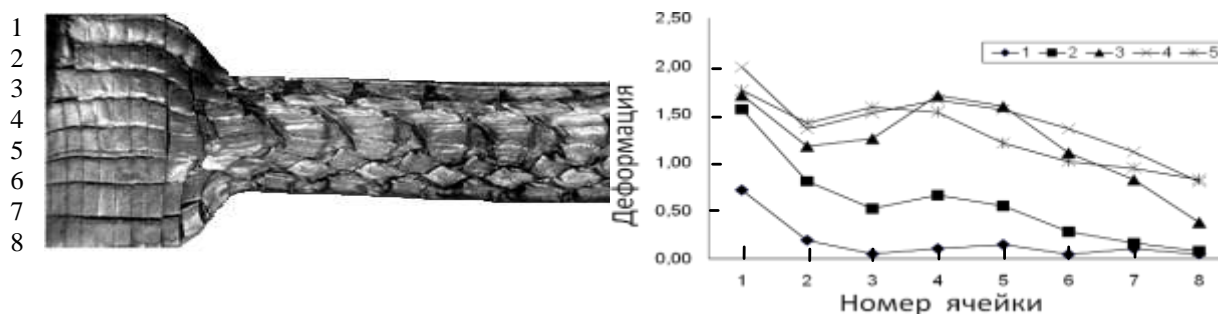


Рис. 1. Вид координатной сетки (а), график распределения деформации (б) в литом образце Al.

Расчет деформации ячеек сетки (рис. 1б) показал, что прилегающие к несмазанной поверхности ячейки испытали большую деформацию, чем ячейки на противоположной стороне, однако глубина влияния сил контактного трения относительно быстро спадает. Однако по мере удаления от поверхности образца, начинает сказываться геометрический фактор Э, предопределяющий более высокие скорости истечения и степень деформации центральных слоёв по сравнению с периферийными.

В случае порошковых материалов глубина воздействия трения была меньшей и ограничивалась приповерхностным слоем т.к. порошки слабо связаны в прессовке и имеют возможность проскальзывать относительно друг друга как целое. Положительную роль сыграло в этом случае и использование

защитной оболочки, исключившей прямые контакты порошков со стенками пресс-формы. Проходя очаг пластической деформации (матрицу), порошки непрерывно вытягиваются и утоняются (рис. 2а). Форма деформированных порошков остается подобной по всему поперечному сечению прессовки, независимо от их фракционного состава.

Микротвердость прессовки из порошков ПА-2 до матрицы была $520 \pm 5,5$ МПа, а за нею, благодаря деформационному упрочнению, возросла до $750 \pm 4,5$ МПа, а микротвёрдость прессовки из смеси порошков ПА-2 + ПА-4 изменилась от $564 \pm 5,7$ МПа до $793 \pm 8,8$ МПа. Величина упрочнения вследствие Э была одинаковой, что также указывает на равную величину испытанной порошками деформации.

Поперечный размер крупных порошков ПА-2 сократился с $173,2 \pm 29,9$ до $79,0 \pm 11,1$ мкм, а размер порошков в смеси уменьшился со $127,0 \pm 9,0$ до $59,4 \pm 5,0$ мкм. То есть, как и диктует геометрия используемой пресс-формы, поперечный размер порошков в результате экструзии уменьшился в 2.2 раза независимо от их исходного размера. Аналогично изменили свою форму и зёрна в порошках ПА-2, они уменьшился в 2.68 раза с $26,3 \pm 3,9$ до $9,8 \pm 1,95$ мкм. Совпадение величин рассчитанной и измеренной деформации указывает на большие межчастичные силы трения и отсутствие проскальзывания порошков в зоне пластической деформации, в противном случае величина последней была бы меньше.

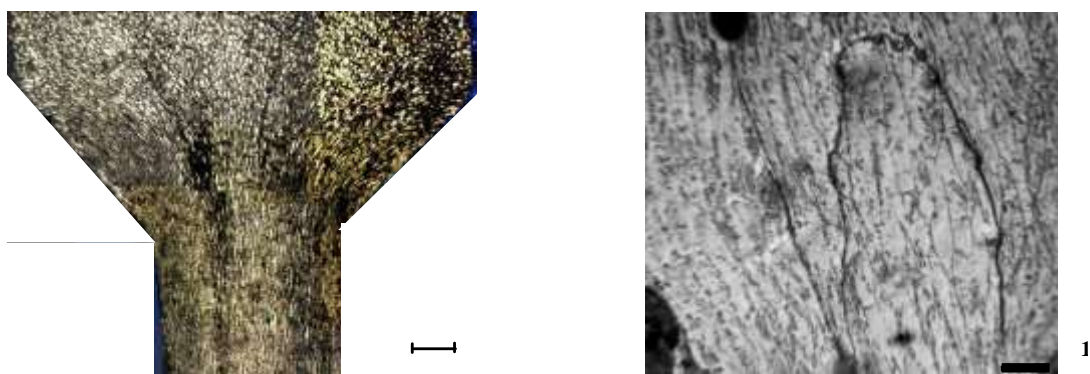


Рис. 2. Общий вид порошкового образца (а), микроструктура образца после экструзии (б).

Несмотря на равную деформацию и одинаковое изменение формы порошков, пористость образца из крупных порошков ПА-2 составила 2,7%, тогда как у образца из смеси порошков - 10,2%. Поскольку крупные поры между частицами в экструдированном материале отсутствуют, то закономерно предположить, что пористость образцов обусловлена микропустотами на контактных площадках между порошками [3]. Тогда, чем больше удельная площадь границ (мельче порошки), тем объемная доля таких пустот будет выше, что и подтверждает эксперимент. Причина их сохранения в экструдированном материале может быть обусловлена недостаточной величиной гидростатического давления при Э. Однако более вероятно, что микропоры появляются как результат действия сил упругого последействия, которые раздвигают плоские, но непрочные из-за окисных плёнок контакты.

Из полученных результатов следует, что в случае деформирования алюминиевых порошковых материалов с применением тонкостенного контейнера действие поверхностных сил контактного трения сосредотачивается вблизи поверхности трения. Независимо от дисперсности используемых порошков течение материала на макромасштабном уровне происходит равномерно по всему объему образца. Величина испытанной частицами деформации при экструзии одинакова и определяется геометрией очага пластической деформации. Однако при коэффициенте вытяжки равном 4 порошки недостаточно сильно увеличивают свою поверхность, из-за чего окисные пленки присутствуют на большей части контактов. При низких температурах прессования эти контакты носят механический характер и расходятся под действием упругих сил после снятия нагрузки, что приводит к образованию микропор на границах раздела порошков. Для устранения данного явления следует увеличить либо степень обжата, либо повысить температуру экструзии порошковых прессовок.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ по проекту № 08-08-00314а.

Литература

1. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / М.: Металлургия, 1987, 792с.
2. M. Moss, R. Lapovok, C.J. Bettles. The equal channel angular pressing of magnesium and magnesium alloy powders // JOM, August 2007, pp. 54-57.
3. Гельман А.С. Основы сварки давлением / М.: Машиностроение, 1970, 312с.